

No English title available.

Patent Number: DE3833881
Publication date: 1990-04-12
Inventor(s): CAO CHI-THUAN DR ING (DE); VOLKERT MATTHIAS DIPL ING (DE); SCHULZ ALFRED DIPL ING (DE)
Applicant(s): BOSCH GMBH ROBERT (DE)
Requested Patent: ☐ DE3833881
Application Number: DE19883833881 19881005
Priority Number(s): DE19883833881 19881005
IPC Classification: G05B13/02; G05D15/00
EC Classification: G05B13/04B
Equivalents:

Abstract

A control device is described which, by using an actuator (final control element) with a non-linear characteristic line (e.g. hysteresis), corrects the manipulated variable in such a way that a linear relationship is achieved between control deviation and controlled variable. For this purpose, parameters for the model equation are estimated from a model of the actuator and, with these variables, the parameter values of the controller and of a correction element are influenced in the sense of a correction of the manipulated variable.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑪ **DE 3833881 A1**

⑤1 Int. Cl. 5:
G05B 13/02
G 05 D 15/00
// B60T 8/00, 8/32,
15/36

⑳ Aktenzeichen: P 38 33 881.5
㉔ Anmeldetag: 5. 10. 88
㉕ Offenlegungstag: 12. 4. 90

DE 3833881 A1

㉚ Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 7000 Stuttgart, DE

㉚ Erfinder:
Cao, Chi-Thuan, Dr.-Ing., 7015 Korntal-Münchingen,
DE; Volkert, Matthias, Dipl.-Ing., 7143 Vaihingen,
DE; Schulz, Alfred, Dipl.-Ing., 7141 Oberriexingen,
DE

㉞ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht zu ziehende Druckschriften:

DE 35 21 594 A1
DE 31 41 560 A1
DE-Z: elektrotechnik, 64, H. 23, 6. Dez. 1982, S. 16-18;

㉞ Regeleinrichtung

Es wird eine Regeleinrichtung beschrieben, die bei Verwendung eines Stellglieds mit nichtlinearer Kennlinie (z. B. Hysterese) die Stellgröße derart korrigiert, daß ein linearer Zusammenhang zwischen Regelabweichung und Regelgröße erzielt wird.

Hierzu werden von einem Modell für das Stellglied ausgehend Parameter der Modellgleichung geschätzt und mit diesen Größen die Parameterwerte des Reglers und eines Korrekturglieds im Sinne einer Korrektur der Stellgröße beeinflusst.

DE 3833881 A1

Beschreibung

Stand der Technik

Aus der DE-OS 36 03 810 ist eine Regeleinrichtung mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 1 bekannt.

Dort ist das Stellglied ein üblicherweise bei Bremsanlagen für Nutzfahrzeuge verwendetes Drucksteuerventil, das keine lineare Stellkennlinie aufweist. Vielmehr ist die stromproportionale Stellkennlinie mit einer starken Hysterese behaftet. Diese Hysterese wurde dort durch aufgenommene und in einem Speicher abgelegte Regressionsgeraden kompensiert und damit das Stellglied linearisiert. Die für die Kompensation notwendigen Regressionsgeraden werden dort off-line in einer einmaligen Initialisierungsphase vom Rechner aufgenommen. Nur von Zeit zu Zeit soll die Aufnahme der Regressionsgeraden erneut durchgeführt werden, um durch Alterung bedingte Regelungsgenauigkeit der Regeleinrichtung zu eliminieren.

Vorteile der Erfindung

Bei der erfindungsgemäßen Lösung werden die für die Korrektur benötigten Parameter fortlaufend on-line ermittelt und in der Korrektureinrichtung bzw. dem Regler verarbeitet; die Anpassung geschieht also fortwährend, was eine Verbesserung der Dynamik und der Robustheit des Regelkreises mit sich bringt. Die dynamischen und statischen Parameter werden getrennt verarbeitet.

Das Prinzip der Erfindung ist universell anwendbar bei stark nichtlinearen Systemen, wie zum Beispiel bei einer Kennlinie mit Hysterese (Fig. 1a) und/oder mit einer Totzone (Fig. 1b) und/oder mit einer Vorspannung (Fig. 1c).

Figurenbeschreibung

Die Erfindung wird im folgenden anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert.

Es zeigt

Fig. 1 nichtlineare Kennlinienbeispiele

Fig. 2 das Modell einer aus Proportionalventil und Relaisventil bestehenden Ventilkombination,

Fig. 3 einen erfindungsgemäß gestalteten Regelkreis.

In Fig. 2 ist ein Modell des Stellglieds (Ventilkombination) dargestellt. Es ist in zwei Blöcke aufgeteilt. Einem ersten Block 1 wird die Stellgröße, der Ansteuerstrom $i(t)$ zugeführt; er beinhaltet die statischen Kennlinien, die durch zwei Paare von statischen Parameter V_P und P_0 beschreibbar sind (Anstiegs- und Abfallkennlinie). Die Geraden sind durch folgenden Ausdruck beschreibbar:

$$P^* = V_P \cdot i(t) + P_0 \quad (1)$$

Der dadurch zustandekommende Ausgangsdruck P^* wird in einem zweiten Block 2 mit den dynamischen Parametern nämlich der Zeitkonstante T_S (es dauert eine Zeit bis bei einer Änderung von $i(t)$ der entsprechende Druck ansteht) und der Totzeit T_I (nach einer Änderung von $i(t)$ braucht das Stellglied die Zeit T_I bis es anfängt zu reagieren) beaufschlagt. Man kann die Beeinflussung durch den Ausdruck

$$T_S \dot{P}(t) + P(t) = P^*(t - T_I) \quad (2)$$

beschreiben. Setzt man die beiden Gleichungen (1) und (2) unter Berücksichtigung der Totzeit gleich, so erhält man:

$$T_S \cdot \dot{P}(t) + P(t) = V_P \cdot i(t - T_I) + P_0 \quad (3)$$

wobei die folgenden Bezeichnungen gelten:

$P(t)$: Druck

$i(t)$: Strom

V_P : Verstärkung statische Parameter

P_0 : Offset statische Parameter

T_S : Zeitkonstante dynamische Parameter

T_I : Totzeit dynamische Parameter

Die Parameter (V_P , P_0) und (T_S , T_I) des Modells der Gleichung (1) sind variabel, je nachdem, wo sich der Betriebspunkt befindet. Dieser Sachverhalt läßt sich durch das Blockschaltbild der Fig. 2 darstellen.

Man erkennt, daß das Modell der Gleichung (3) die Ventilkennlinie (charakterisiert durch die statischen Parameter V_P , P_0) und das dynamische Verhalten (beschrieben durch die dynamischen Parameter T_S , T_I) umfaßt. Sind diese Parameter bekannt, dann lassen sich die Kennlinienkompensation und die Regleranpassung wie folgt durchführen:

Kennlinienkompensation:

$$i(t) = V_i \cdot P(t) + i_o \quad (4)$$

$$\text{mit } V_i = \frac{1}{V_P} \quad (4a)$$

$$i_o = \frac{P_o}{V_P} \quad (4b)$$

Regleranpassung:

$$P = P_P + P_I (\text{PI-Regler}) \quad (5)$$

$$P_P = K_P \cdot e_w \quad (5a)$$

$$P_I = K_I \cdot \int e_w dt \quad (5b)$$

$$e_w = P_{\text{soll}} - P_{\text{ist}} \quad (5c)$$

$$K_P \sim f(T_S, T_I) \quad (5d)$$

$$K_I \sim f(T_S, T_I) \quad (5e)$$

Zur Parameterschätzung können bekannte Algorithmen wie z.B. rekursive Least-Squares-Verfahren mit variablem Forgetting-Faktor gewählt werden. Die Basisgleichung für die Parameterschätzung lautet nach Gl. (3):

$$\dot{P} = \underbrace{\left[-\frac{1}{T_S}, \frac{V_P}{T_S}, \frac{P_o}{T_S} \right]}_{\text{die zu schätzenden Parameter}} \cdot \underbrace{\begin{bmatrix} P(t) \\ i(t-T_I) \\ 1 \end{bmatrix}}_{\text{Meßfaktor}} \quad (6)$$

Fig. 3 zeigt ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäß ausgebildeten Regelkreises mit der Ventilkombination Proportionalventil und Relaisventil als Stellglied. Das Stellglied ist mit 11 bezeichnet. Der von ihm eingesteuerte Druck bzw. das entsprechende Meßsignal wird in einem Vergleich 12 mit dem Solldrucksignal P_{soll} verglichen. Die resultierende Regelabweichung e_w wird einem Regler 18 zugeführt, der als P-I-Regler aufgebaut ist. Er weist die oben angegebenen Parameter K_P und K_I auf, die variiert werden können. Sein Ausgangssignal P wird einem Korrekturglied 17 zugeführt, das die Kennlinie

$$i = V_i \cdot P + i_o$$

in allgemeiner Form beinhaltet; die Parameter V_i und i_o sind variabel. Sein Ausgangssignal i (Stellsignal) steuert das Stellglied 11 an.

Das Stellsignal i und das Meßsignal des eingesteuerten Drucks P wird einem Block 13 zugeführt der auf der Basis der Gleichung (3) eine Schätzung der Parameter vornimmt und die Schätzwerte \hat{V}_P, \hat{P}_o (statische Parameter) und \hat{T}_S, \hat{T}_I (dynamische Parameter) an Anpaßglieder 15 bzw. 16 liefert. In diesen werden die Schätzwerte in Parameterwerte des Korrekturglieds 17

$$V_i = \frac{1}{\hat{V}_P}$$

$$i_o = \frac{-\hat{P}_o}{\hat{V}_P}$$

bzw. des Reglers 18

$$K_P \sim f(\hat{T}_S, \hat{T}_I)$$

$$K_I \sim f(\hat{T}_S, \hat{T}_I)$$

umgerechnet und diese Parameter dem Korrekturglied 17 bzw. Regler 18 als gültige Parameter zugeführt. Hierdurch wird erreicht, daß der Druck P sich linear mit der Regelabweichung ändert (\sim heißt proportional. Es gibt zahlreiche empirische "Einstellregeln" für einen PI-Regler, z. B. die Einstellregel (Faustregel) nach Chien,

Hrones und Reswick).

Für die Parameterschätzung ist es wichtig eine Information zu erhalten, wo sich der Betriebsdruck befindet. Dies läßt sich z. B. wie in DE 36 03 810.5 durch Abfrage von $|e_w|$ und das Vorzeichen der Änderung der Stellgröße Δp gewinnen. Damit lassen sich die Meßwerte getrennten Parameterschätzern z. B. für Druckauf- und Abbau zuordnen (Meßwertauswahl). Dies ist in Fig. 3 der Einfachheit halber nicht dargestellt. Nützlich ist es auch Überwachungsstrategien, anzuwenden z. B. vorzugeben, wann der Parameterschätzer aktiv bleibt. Beispielsweise muß der Parameterschätzer abgeschaltet werden, wenn Δp unter einer Schwelle liegt. Dies ist durch einen Block 14 angedeutet. Es ist auch günstig, Grundparameter für die Regelung und Kompensation bei Inbetriebnahme oder Fehlererkennung zu benutzen. Die Grundparameter können z. B. in einer Initialisierungsphase gewonnen werden. Dies soll durch den Block 9 angedeutet sein. Wird die Tiefpaßfilterung der geschätzten Parameter angewendet, so wirken sich vereinzelte Schätzfehler nur geringfügig auf die Regelung aus. Die Erfindung ist nicht auf das vorstehend beschriebene Drucksteuerventil als Ausführungsbeispiel beschränkt. Vielmehr ist sie anwendbar für alle stark nichtlineare Prozesse, deren Nichtlinearitäten durch statische Kennlinien beschreibbar sind. Die allgemeine Struktur entspricht der in Fig. 3 dargestellten.

Patentansprüche

1. Regeleinrichtung zur Einregelung einer Regelgröße auf einen einem Sollwert entsprechenden Wert unter Verwendung eines Stellglieds, bei dem die Abhängigkeit der zu regelnden Ausgangsgröße (Regelgröße) von der dem Eingang zugeführten Stellgröße nichtlinear aber durch statische Kennlinien beschreibbar ist, bei der dem Regler eine Korrektoreinrichtung zugeordnet ist, die unter Berücksichtigung der Nichtlinearität des Stellglieds die Regelabweichung in eine solche Stellgröße umwandelt, daß ein linearer Zusammenhang zwischen der Regelabweichung und der Regelgröße besteht, **dadurch gekennzeichnet**, daß unter Zuhilfenahme der augenblicklichen Stellgröße und der augenblicklichen Regelgröße fortlaufend in einem Identifikationsverfahren (Parameterschätzverfahren) die statischen und dynamischen Parameter des nichtlinearen Zusammenhangs des Stellglieds ermittelt wird und daß die dynamischen Parameter dem Regler zur Beeinflussung dessen Parameter und die statischen Parameter dem nachgeschalteten Korrekturglied zur Beeinflussung der Parameter der statischen Kennlinien zugeführt werden.

2. Regeleinrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Stellglied ein Ventil oder eine Ventilkombination ist, das einen Druck einregelt und daß die Parameterschätzung auf der Basis der Modellgleichung

$$T_S \dot{P}(t) + P(t) = V_P i(t - T_I) + P_O$$

erfolgt, wobei $P(t)$ der gemessene Druck, $i(t - T_I)$ die Stellgröße, V_P und P_O die statischen Parameter (V_P = Verstärkung und P_O = Offset) und T_S und T_I die dynamischen Parameter (T_S = Zeitkonstante und T_I = Totzeit) sind.

3. Regeleinrichtung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine getrennte Parameterschätzung in Abhängigkeit von der Richtung der Änderung der Regelgröße erfolgt.

4. Regeleinrichtung nach einem der Ansprüche 1—3, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Parameterschätzung abgebrochen wird wenn die Regelgrößenänderung einen kleinen Wert annimmt.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

— Leerseite —

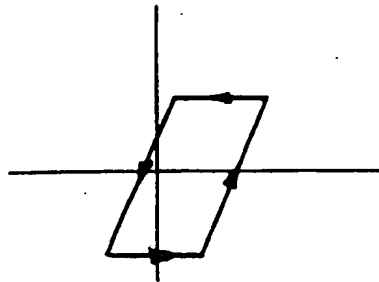
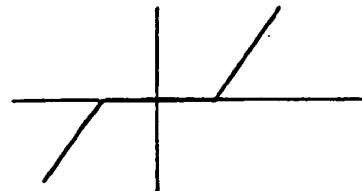
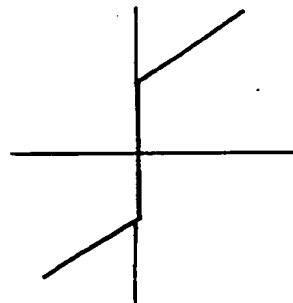


Fig. 1a



1b



1c

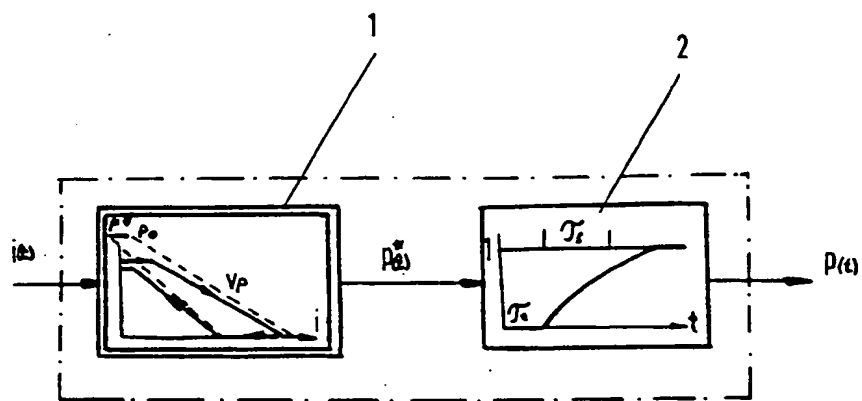


Fig.2

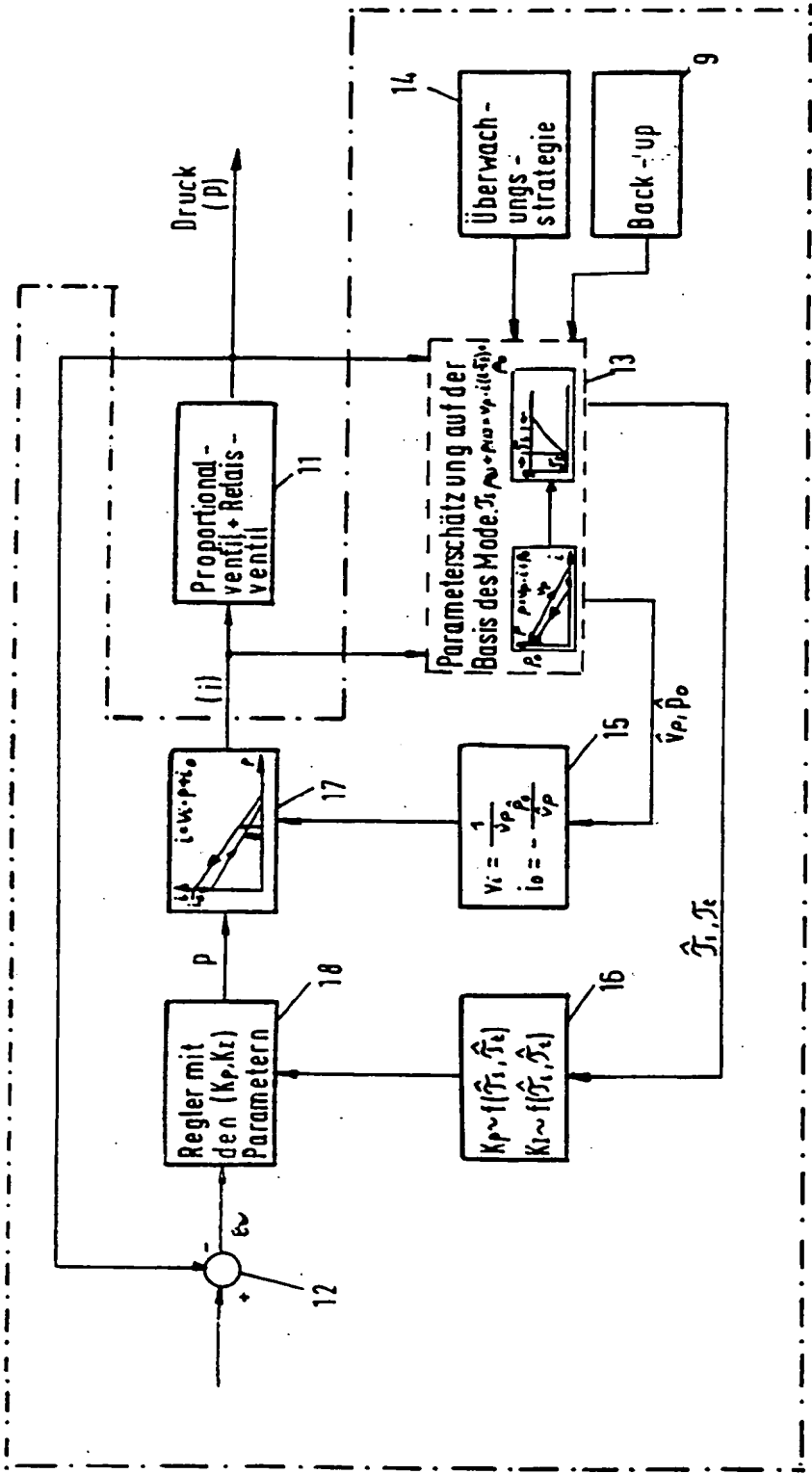


Fig.3